

EUROPEAN PATENT OFFICE
EUROPEAN PATENT APPLICATION NO. 0 490 117 A1

Int. Cl. ⁵ :	B 08 B	9/06
	B 08 B	9/02
Filing No.:	91119494.2	
Filing Date:	November 15, 1991	
Publication Date of the Application:	June 17, 1992 Patent Bulletin 92/25	
Priority		
Date:	December 13, 1990	
Country:	Switzerland	
No.:	3947/90	
Designated Contracting States:	AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IT, LI, LU, NL, SE	

PROCESS FOR CLEANING A PIPELINE

Inventor:	Ingo Kuebler Stückelbergstrasse 9 CH-9000 St. Gallen (CH)
Applicant:	Bühler AG CH-9240 Uzwil (CH)
Agent:	Peter Révy von Belvárd Im Lindengarten 18 CH-9242 Oberuzwil (CH)

Abstract

A two-phase liquid/gas stream is made to flow through a pipeline (101) in order to clean the pipeline by means of a cleaning liquid. Annular flow is preferably produced in order to do this, whereby the liquid is fed in at at least one location at the periphery of a section (201) of the pipeline. The streams of gas and liquid preferably flow in the same direction.

//insert; front cover//

Figure 7

The invention pertains to a process for cleaning a pipeline in accordance with the preamble of Claim 1.

If products of widely varying nature are conveyed through pipelines, then the necessity of cleaning these pipelines arises either upon changing the product which is being conveyed, or after a certain time of operation. Product residues that adhere to the internal walls of the pipe or even abraded particles are to be removed in this connection.

In the case of long pipelines, or those that are provided for the transportation of toxic substances, dismantling of the line and subsequent cleaning of the pipe's components is rather time-consuming or is only feasible using safety regulations that have to be maintained with care. As an alternative to this, such pipeline systems have previously been completely filled with the cleaning liquid, whereby this liquid had been forced under pressure or even sucked through the lines. It is evident that large quantities of cleaning liquid are necessary for this method, whereby this is questionable both from the point of view of environmental compatibility and from that of profitability.

Accordingly, the problem that forms the basis of the invention is to undertake the cleaning of pipelines with the help of cleaning liquids without having to dismantle the pipelines, whereby the throughput of the cleaning liquid is reduced by several orders of magnitude relative to the conventional process.

This takes place with success as a result of achieving the characterizing features of Claim 1.

Advantageous further embodiments are described in the characterizing features of the dependent claims.

If two phases, namely liquid and gas, flow through a pipeline, then extremely different flow patterns are possible which are dependent, in particular, on the proportion of the gas passing through and also on whether these phases are passing through horizontal, vertical, or inclined pipes. The gas and liquid generally flow in the same direction. In vertical or markedly inclined pipes, however, counterflow of the gas relative to the liquid is also possible. The transitions between the individual existence regions of the flow patterns can be fluid; depending on the pair of phases, considerable differences can also arise for the boundaries of the flow patterns.

~~The cleaning process is also conceivable by means of plug flow or froth flow within the framework of the invention.~~ However, the use of two-phase gas/liquid flow is preferable, whereby such flow is in the form of annular flow through the pipeline system. ~~The term annular flow is to be understood to mean flow in which the liquid forms a film which sustains itself along the wall of the pipe and the gas flows in the center of the pipe. The two phases are thereby separated from one another by a more or less well-defined boundary layer that corresponds approximately to the interior wall of the pipeline.~~ In the case of vertical pipelines and also, in certain cases, inclined pipelines, both unidirectional flow and counterflow directions are possible for the gas and liquid phases in this way. A comprehensive presentation of two-phase annular flow phenomena is given in Hewitt, Hall Taylor: "Annular Two-Phase Flow" (Pergamon Press, 1970), the contents of which are regarded as being disclosed herewith.

Contrary to various literature references, the form in which the liquid is fed into the pipeline is not especially important for the formation of annular flow. Thus, the liquid could be fed into the stream of gas via one or more central nozzles, or even in an annular manner via a porous pipe component or an annular line. ~~If the liquid is introduced centrally, then dispersion annular flow is generally produced in which finely divided liquid droplets are swept along in the stream of gas.~~

However, the pressure loss is reduced by a tangential inward flow direction of the liquid and/or an inward flow direction that is inclined at an angle to the pipe axis; this is because the stream of gas has to muster less energy in order to accelerate the liquid annulus, and less liquid will be swept along by the gas in the center of the pipe.

Annular feeding in at the pipe's periphery is to be provided, rather, for mild cleaning processes for vertical or slightly inclined pipes in which case the liquid flows off again in the form of a thin film along the interior wall of the pipe and the gas is capable of flowing either in the direction of the stream of liquid or even counter thereto.

The Baker diagram, which is known from the literature and which is compiled empirically, shows the existence regions of the various flow patterns for two-phase flows, though only for horizontal pipes.

In accordance with the invention, a quite well-defined operating region is found to be especially advantageous for the formation of annular flow with high cleaning action and minimal consumption of liquid, whereby this is independent of the pipe's being oriented horizontally or vertically. The indicated values are based on two-phase liquid/gas flow in the ratio of $1 \text{ m}^3:3000$ to 7500 m^3 or, respectively, $1 \text{ kg}:2.0$ to 6.0 kg . Thus, for example, the consumption of approximately 30 L of liquid arises for a cleaning time of approximately 10 min in the case of a pipeline system that has a pipe diameter of 65 mm, whereby this is independent of its length, whereas approximately 80,000 L of liquid, by contrast, would be necessary in the case of complete filling of the pipeline with a cleaning liquid.

The invention will be elucidated in more detail, by way of example, on the basis of the following drawings. The following aspects are shown.

Figure 1 shows flow patterns for two-phase flows in a horizontal pipe;

Figure 2 shows flow patterns for two-phase flows in a vertical pipe, where:

Figure 2a shows two-phase flows in the same direction and

Figure 2b shows two-phase flow in opposite directions;

Figures 3a-d show variants of the geometry for the inward flow of the liquid

Figure 4 shows the diagram for the existence regions of the various flow patterns in accordance with the work of Baker, as supplemented by Scott;

Figure 5 shows a diagram for calculating the pressure loss in the case of two-phase flow in a horizontal pipe;

Figure 6 shows the dependence of the mass flows of the liquid on the diameter of the pipe for a selected operating region; and

Figure 7 shows the construction of an apparatus in accordance with the invention.

Figure 1 shows various flow patterns for two-phase flow in a horizontal pipe 1. The flow direction for both the liquid and the gas is the same in this case, and is indicated by an arrow with the index letter L for the liquid and the index letter G for the gas. The following aspects are shown from top to bottom in Figure 1:

- bubble flow 2, with gas bubbles in the uppermost part of the pipe; the gas and liquid have approximately the same speed;
- plug flow 3; bullet-shaped plugs move along in the uppermost part of the pipe;
- stratified flow 4 in the case of which the two phases are separated by a smooth interface, whereby this is in contrast to

- pulse flow 5 in the case of which the phase boundary is formed in an undulating manner;
- with increasing speed, the waves of the pulse flow pattern 5 are thrown up in a surge-like manner, and wetting of the entire interior surface of the pipe arises, whereby a thin film fills the intermediate space between the individual surge-like waves on the uppermost side of the pipe; this flow pattern will be termed surge flow 6;
- with a further increase in speed, the surge-like waves are penetrated by gas and annular flow 7 is produced, whereby the film thickness at the uppermost side of the pipe 1 is less than at the lowermost side because of the influence of gravity.

Corresponding flow patterns are produced in vertical pipes; the following can be seen from Figure 2a (from left to right): bubble flow 2, plug flow 3, froth flow 8 that corresponds to the surge flow 6 in the horizontal pipe, and annular flow 7. The designation semiannular flow is also used for froth flow 8 which - as in the case of the surge flow 6 in a horizontal pipe - represents the transitional form between plug flow 3 and annular flow 7. The flow directions of the gas and liquid are the same in all these cases.

In contrast to this, Figure 2b shows a liquid that is flowing off again in the interior of a vertical pipe 1, whereby this liquid should be fed in, in an annular manner, at the diameter of the pipe in order to acquire a closed liquid film layer. In this case, the gas can also flow opposite to this, i.e., upwards, as long as the speed of the gas is not too great so that the waves do not trigger any laminar flow characteristics in the liquid film. Naturally, such a gently falling film 9 also represents a form of annular flow, but mutual modification of the gas and liquid phases is comparatively small here.

In comparison to the various flow patterns, annular flow is certainly to be preferred for economical though effective cleaning, whereby the special case of the gently falling film is conceivable only for vertical or slightly inclined pipes and mild cleaning processes. However, plug flow 3 or surge flow 6 or froth flow 8 would be usable for pipe cleaning with more economical consumption of the cleaning liquid.

The consumption values for cleaning by means of annular flow are compared below, on the basis of an example, to those in the case of a pipe that has been fully filled with liquid.

Figure 3 shows various possibilities of how the liquid can be fed into the pipe 1. The formation of annular flow is favored in the cases that are illustrated in Figures 3a and 3b. If, in accordance with Figure 3b, the liquid is introduced via an annular inlet, which is constructed here in the form of a porous wall 10, then annular flows can be produced either in the same direction or in opposite directions. Feeding in the liquid in accordance with Figure 3a, however, is especially favorable, whereby the liquid is fed, under pressure, into the pipe 1 via an inlet nozzle 11. Since the nozzle 11 is inclined at an angle α (of preferably 45°) to the axis 12 of the pipe,

and/or it opens out tangentially into the periphery of the pipe, less energy is output by the gas for producing annular flow: the pressure loss along the pipeline is less.

At an appropriate speed of the gas, annular flow is also produced with the inlet nozzles 11a and 11b that are illustrated in Figures 3c and 3d, respectively, whereby these nozzles feed the liquid essentially into the center of the pipe. In these cases, however, the gas "core" will generally carry entrained liquid with it in dispersed form.

Figure 4 illustrates the Baker diagram from which a very narrow region can preferably be considered as being in accordance with the invention and in accordance with which the existence regions of the individual flow patterns in horizontal pipes can be estimated roughly. The diagram that is obtained purely empirically is usable for liquid/gas phases that are comparable to air/water as the pair of substances. In the latter case, however, considerable deviations from this diagram are observed. The regions of the individual flow patterns are characterized in Figure [sic] with the reference symbols corresponding to Figures 1 and 2.

The expression $G_L \cdot \lambda_B \cdot \psi_B / G_G$ on the abscissa is plotted against the expression G_G / λ_B , whereby λ is a density/surface tension parameter and ψ is a viscosity/surface tension parameter. G_L and G_G are the mass flows for the liquid and gas in $\text{lb/h} \cdot \text{ft}^2$ and λ_B and ψ_B are defined by

//insert equation; page 4, line 20//

and, respectively,

//insert b

ρ are the density values, σ the surface tension, and μ the viscosity of the liquid. The indices A and W designate the values for air and water, respectively; L and G, as already indicated above, designate those for the liquid and gas, respectively.

In the case of annular two-phase flow through vertical pipes, the influence of gravity does not make itself felt as in the case of horizontal flows where the annular thicknesses at the uppermost and lowermost sides of the pipe can vary by more than an order of magnitude. Vertical annular flow is essentially stable, whereas horizontal annular flow is basically unstable. Accordingly, it is important to find an operating region that ensures annular flow with the flow of a stream of liquid water, which is as small as possible, both for horizontal and for vertical pipes, i.e., for a complex pipeline system in which curves also occur. In region 13, the value that is to be maintained in the Baker diagram for the expression on the abscissa is between 0.1 and 0.4, and

that on the ordinate is between $2 \cdot 10^4$ and $10^{[illegible]}$, and satisfactory results are found for liquid/gas phases [at ratios corresponding to] the above-indicated order of magnitude, whereby, in extreme cases, these limits can also be exceeded or even not quite be reached, by at least 10% and, if required, by as much as 20%.

The correlation by Lockhart and Martinelli, which is illustrated in Figure 5, permits the pressure loss to be calculated for two-phase flows, whereby the underlying assumption for the individual curves is that the two phases flow through the pipeline in a manner in which they are unaffected by one another. The curves 14a-d and 15a-d hereby correspond to liquids and gases, respectively, with turbulent to laminar flow characteristics. The abscissa of the diagram hereby corresponds to the root of the ratio

//insert c, expression; page 4, line 45, //

whereby the values for the pressure drop in the numerator and denominator correspond, respectively, to the values that would have arisen if only the liquid or only the gas were to flow through the pipe. The roots of the expressions //insert d // and, respectively, //insert e // can be read off on the ordinate. The values for the denominator are thereby known; accordingly, the pressure gradients can be determined for the gas and liquid phases of the two-phase flow (index ZB).

The diagram that is illustrated in Figure 6 shows the mass flow G_L for water for various pipe diameters for a selected operating point 16 in the Baker diagram (Figure 4).

Horizontal annular flow, which is to be considered to be basically unstable proves to be significantly more stable if the horizontal pipe has fluids flowing through it following a vertical pipe section; accordingly, longer horizontal pipe sections should be capable of having material flow through them following vertical pipe sections, whereby this should be borne in mind during the construction of a pipeline system that is to be cleaned in the manner in accordance with the invention.

Figure 7 shows a simplified apparatus for carrying out the process with a conveying pipeline 101 (that corresponds to the pipe 1 of Figures 1-3), into which the conveyed product is normally fed into an initial section 201 in a known way from a dispensing container 17. This initial section 201 is connected to a line section 301, which does not serve for conveying tasks, with a fan 18 as the source of compressed gas (generally a source of compressed air if another gas, such as an inert gas, is not used for special reasons). Conveying hereby takes place via an adjustable section 401 and a pipe shunt 19, which is indicated merely schematically, into a separator (cyclone) 20.

If the conveying line 101 is to be cleaned, then the pipe shunt 19 is switched over in such a way that the cleaning liquid (water, cleansing agent or solvent, etc.) is supplied to a separator 21. The two separators 20, 21 are connected via extraction lines 22 to a gas extraction system which is not illustrated and which, if required, can communally be the two separators 20, 21 and which also has a suction fan if required. In any case, the compressor fan 18 together, optionally, with such suction fans are constructed and provided with appropriate dimensions so that two-phase flow sets in as elucidated above.

After switching over the pipe shunt 19, a pump 24, which is connected to a stock supply 23 of liquid, is set in action and pumps the cleaning liquid into the pipeline 101 at a location that is expediently situated in the initial region 201 in the manner that is indicated above. It can be seen that the connection of the pump 24 via a supply line 111 is made at a location that is situated after the opening of the input elbow [fitting] 26 (indicated merely in dots and dashes) that leads away from the container 17; however, it can be desirable to provide the opening location of the line 111 prior to the elbow 26. In accordance with the prior art, it is known that several branch lines, which are distributed over the length of the conveying line 101, can be allowed to open into this [conveying line] and thus it would also be possible to provide several lines 111 that are fed from the liquid source 23, 24 and that open at various locations on the line 101. In general, however, this will not be desired since, on the one hand, this will lead to higher costs and, on the other hand, the quantity of liquid that is contained in the line 101 merely becomes larger with increasing length of the line 101. Such a solution would be conceivable only in the case of very powerful soiling products in the case of which the cleaning liquid rapidly forms a saturated solution which is not then directly suitable for additional cleaning work. In the normal case, however, it is preferable if only one single line 111 (with a nozzle 11 in accordance with Figures 1-3) is present for the supply of liquid.

It is understandable that it would be conceivable to allow the liquid to flow within the vertical section of the pipeline 101 in a direction that is counter to the flow of gas; in this case, the arrangement of the separators would have to be changed correspondingly.

In order that the cleaning process, which has been described, function in a problem-free manner, attention is to be paid to the aspect that, in the case of flange connections, no projections protrude into the interior of the pipe between the individual pipe sections. Liquid should flow over interior walls that are as smooth as possible. Strong bends and abrupt changes in the diameter of the pipe are also to be avoided. It is otherwise possible to allow the cleaning process to take place alternatingly in two directions, even though this does not have the same effectiveness.

Two examples for carrying out the process are indicated below.

Example 1:

Pipe length 25 m; air pressure 1.3 bar (operation using pressure)

pipe diameter 65 mm

air speed: up to 60 m/sec

consumption of liquid (water): 30 L in 10 min (in the case of a fully filled pipe, by comparison, approximately 80,000 L would be necessary for this)

Example 2:Operation using suction

pipe diameter: 80 mm

in the case of pipe lengths in excess of 50 m (depending on pipe quality in terms of the loss in friction that arises, and any possible losses in density, etc.), air has to be added since the air density will otherwise [be] reduced too markedly.

Claims

1. Process for cleaning a pipeline (1) in the case of which cleaning liquid flows through the pipeline (1), characterized by the fact that a two-phase stream, i.e., liquid and, simultaneously, gas or, preferably, air, flows through the pipeline (1).

2. Process in accordance with Claim 1, characterized by the fact that these two phases, i.e., liquid and gas, flow through the pipeline (1) in the form of an annular flow pattern (7).

3. Process in accordance with Claim 1 or 2, characterized by the fact that the liquid is fed in at at least one location (10, 11) at the periphery of a section of the pipeline (1), and that the liquid is preferably inclined to the axis (12) of the pipeline (1), preferably at 45°, and/or it is fed in tangentially relative to the periphery of the pipe.

4. Process in accordance with one of the preceding claims, characterized by the fact that the gas and the liquid flow in the same direction.

5. Process in accordance with one of Claims 1-3, characterized by the fact that the gas and the liquid flow in opposite directions.

6. Process in accordance with one of the preceding claims, characterized by the fact that the value of the expression

$$G_L \cdot \lambda_B \cdot \psi_B / G_G$$

lies between 0.1 and 0.4 or, preferably, between 0.15 and 0.3, and that the value of the expression

$$G_G \cdot \lambda_B$$

lies between $2 \cdot 10^4$ and 10^5 or, preferably, between $3 \cdot 10^4$ and $8 \cdot 10^4$, whereby G_L and G_G are, in each case, the mass flow of the liquid and gas, respectively, in lb/h ft^2 and the parameters λ and ψ are defined by

//insert a equations; page 6, line 35//

and, respectively,

//insert b//

whereby ρ_L and ρ_G are the densities of the liquid and gas, respectively, in the given system; σ is the surface tension and μ_L is the viscosity of the liquid; the indices A and W relate to the corresponding values, respectively, at normal pressure.

7. Process in accordance with claim 1, characterized by the fact that, for water, at a rate of inflow of, e.g., 80 m/sec, the mass flow of water is given by the following values as a function of the diameter of the pipeline:

//insert table; page 6//

Key: 1 Pipe diameter in m
2 Mass flow of the liquid in kg/sec

8. Process in accordance with one of the preceding claims, characterized by the fact that the ratio of gas to liquid is on the order of $3000\text{-}7500 \text{ m}^3\text{:}1 \text{ m}^3$ or, respectively, on the order of $2.0\text{-}8.0 \text{ kg:}1 \text{ kg}$.

9. Apparatus for carrying out the process in accordance with one of Claims 1-8 with a conveying line (1; 101) and a source (18) of compressed gas, whereby this source is constructed on the conveying line (1; 101) for blowing through a conveying gas, characterized by the fact that the conveying line (1; 101) is additionally connected to at least one source (23, 24) of liquid via

at least one line (11; 111) for liquid, and that the source (18) of compressed gas is provided with suitable dimensions and is constructed [in an appropriate way] for producing a two-phase flow.

10. Apparatus in accordance with Claim 9, characterized by the fact that one single line (111) for liquid is provided for supplying liquid from the source (23, 24) of the liquid, preferably in the region (201) of the commencement of the conveying line (101) which fulfills the conveying operations.

//insert//

Figure 1

European
Patent Office

Application Number
EP 91 11 9494

EUROPEAN SEARCH REPORT

DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT															
Category	Citation of document with indication, where appropriate, of relevant passages	Relevant to claim	CLASSIFICATION OF THE APPLICATION (Int. Cl.)												
X	SOVIET INVENTIONS ILLUSTRATED Section PQ, Week 8423, 18, July 1984 Derwent Publications Ltd., London, GB; Class P43, Page 13, AN 94-145538/23 & SU-A-1 042 826 (GAVRILENKO SI) September 23, 1983 * Summary *	1,2,4 6-9	B08B9/06 B08B9/02												
X	DE-C-893 596 (A.BESTA) * The entire document *	1													
A D,A	G. F. HEWITT ET AL. 'annular two-phase flow' 1970, PERGAMON PRESS, OXFORD * Page 2-page 18? [illegible]	2,3,10 1-5													
			TECHNICAL FIELDS SEARCHED (Int. Cl.)												
			B08B												
The present search report has been drawn up for all claims.															
Place of search THE HAGUE		Date of completion of the search April 2, 1992	Examiner RAMPELMANN K.												
<p align="center">CATEGORY OF CITED DOCUMENTS</p> <table border="0"> <tr> <td>X: Particularly relevant if taken alone.</td> <td>T: Theory or principle underlying the invention.</td> </tr> <tr> <td>Y: Particularly relevant if combined with another document of the same category.</td> <td>E: Earlier patent document, but published on, or after the filing date.</td> </tr> <tr> <td>A: Technological background.</td> <td>D: Document cited in the application.</td> </tr> <tr> <td>O: Non-written disclosure.</td> <td>L: Document cited for other reasons.</td> </tr> <tr> <td>P: Intermediate document.</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>&: Member of the same patent family, corresponding document.</td> </tr> </table>				X: Particularly relevant if taken alone.	T: Theory or principle underlying the invention.	Y: Particularly relevant if combined with another document of the same category.	E: Earlier patent document, but published on, or after the filing date.	A: Technological background.	D: Document cited in the application.	O: Non-written disclosure.	L: Document cited for other reasons.	P: Intermediate document.			&: Member of the same patent family, corresponding document.
X: Particularly relevant if taken alone.	T: Theory or principle underlying the invention.														
Y: Particularly relevant if combined with another document of the same category.	E: Earlier patent document, but published on, or after the filing date.														
A: Technological background.	D: Document cited in the application.														
O: Non-written disclosure.	L: Document cited for other reasons.														
P: Intermediate document.															
	&: Member of the same patent family, corresponding document.														

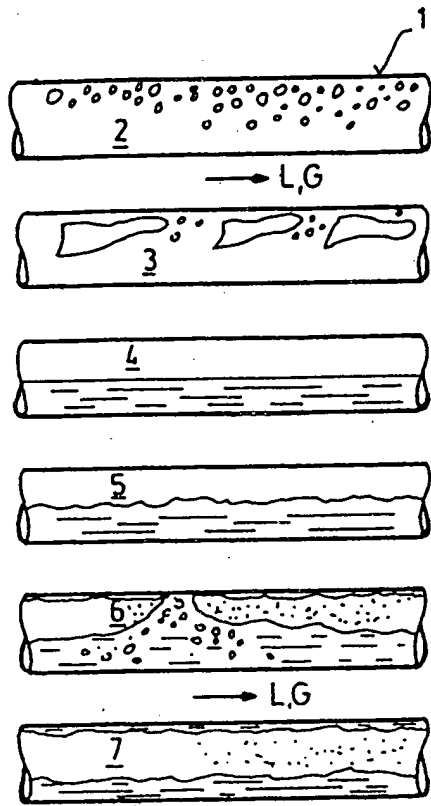


Fig. 1

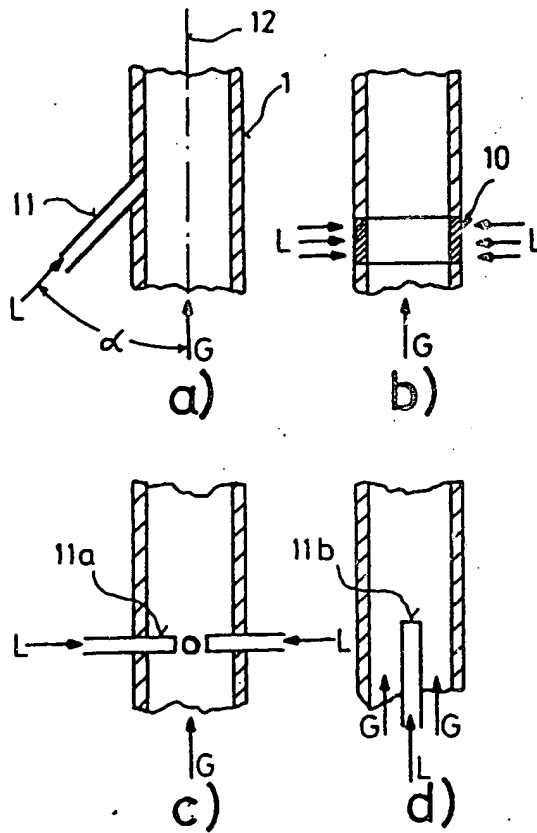


Fig. 3

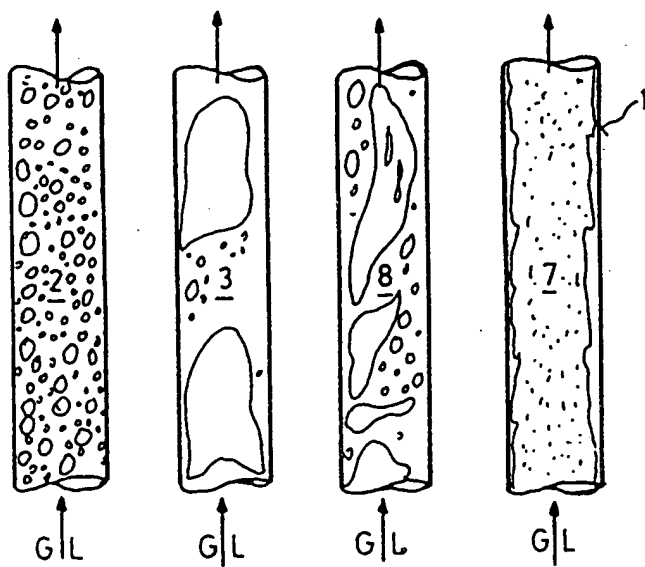


Fig. 2a

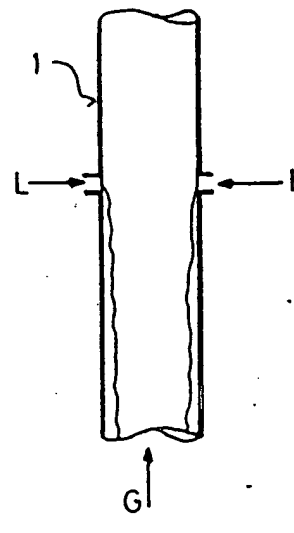


Fig. 2b

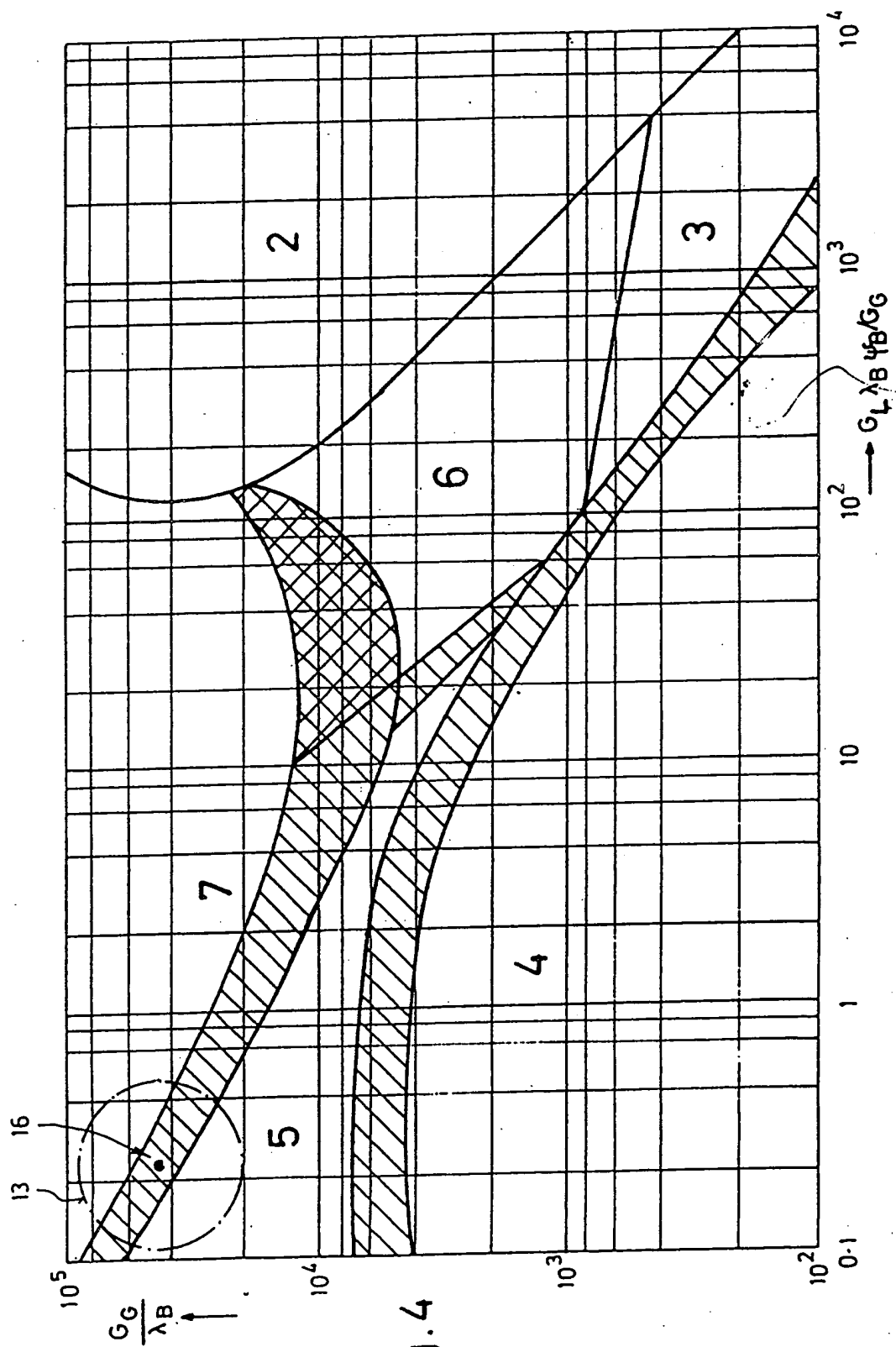


Fig. 4

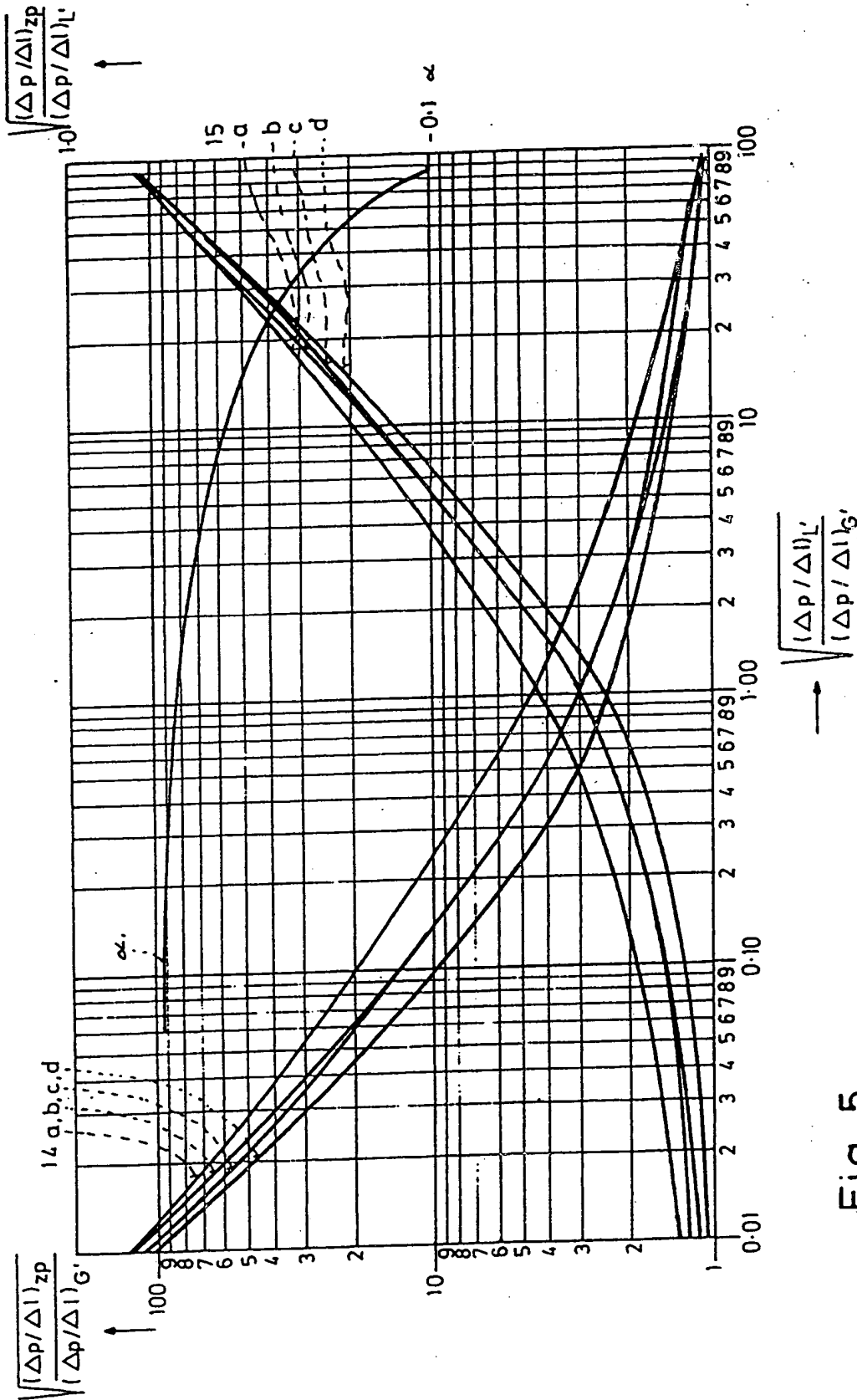


Fig. 5

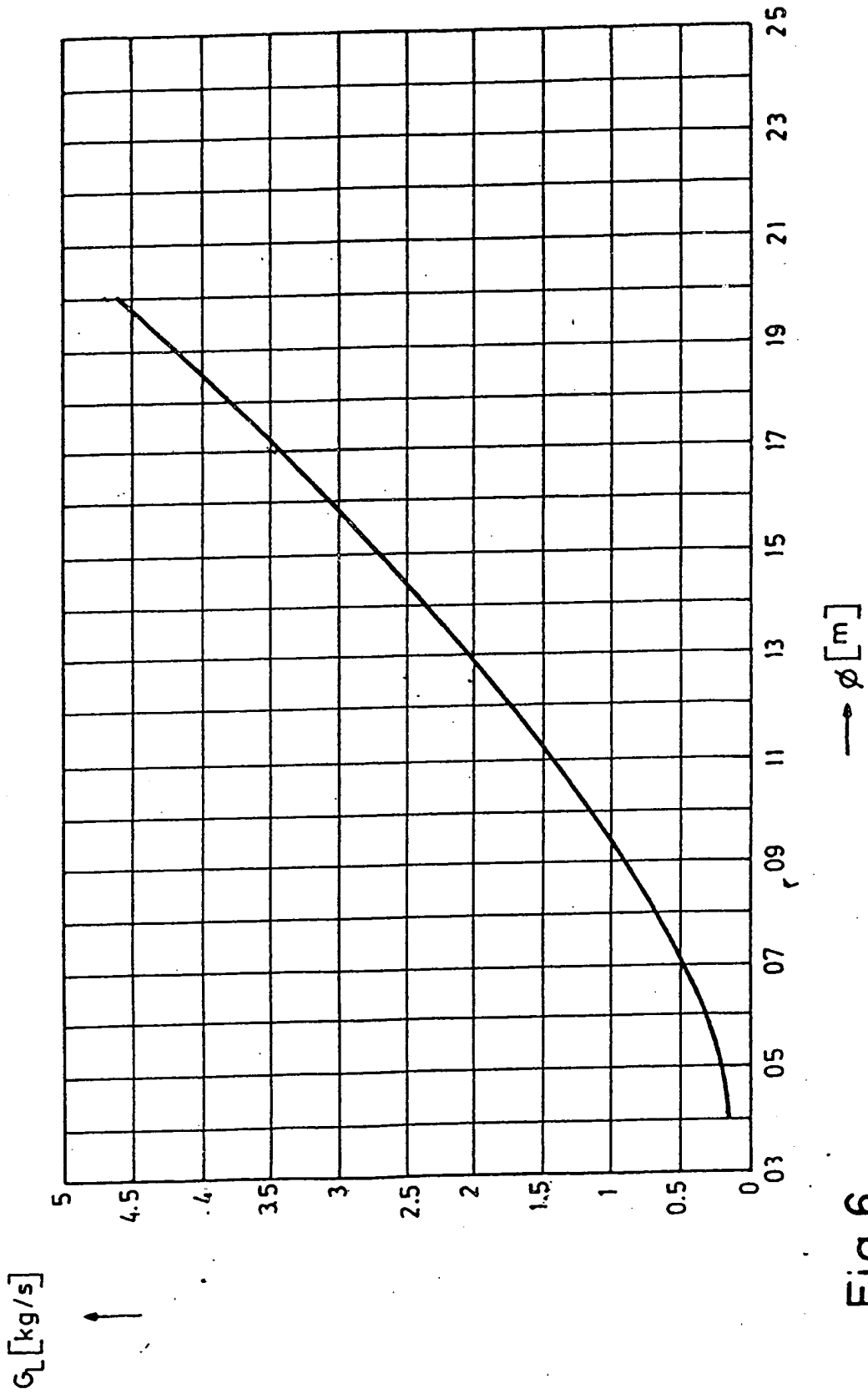


Fig.6

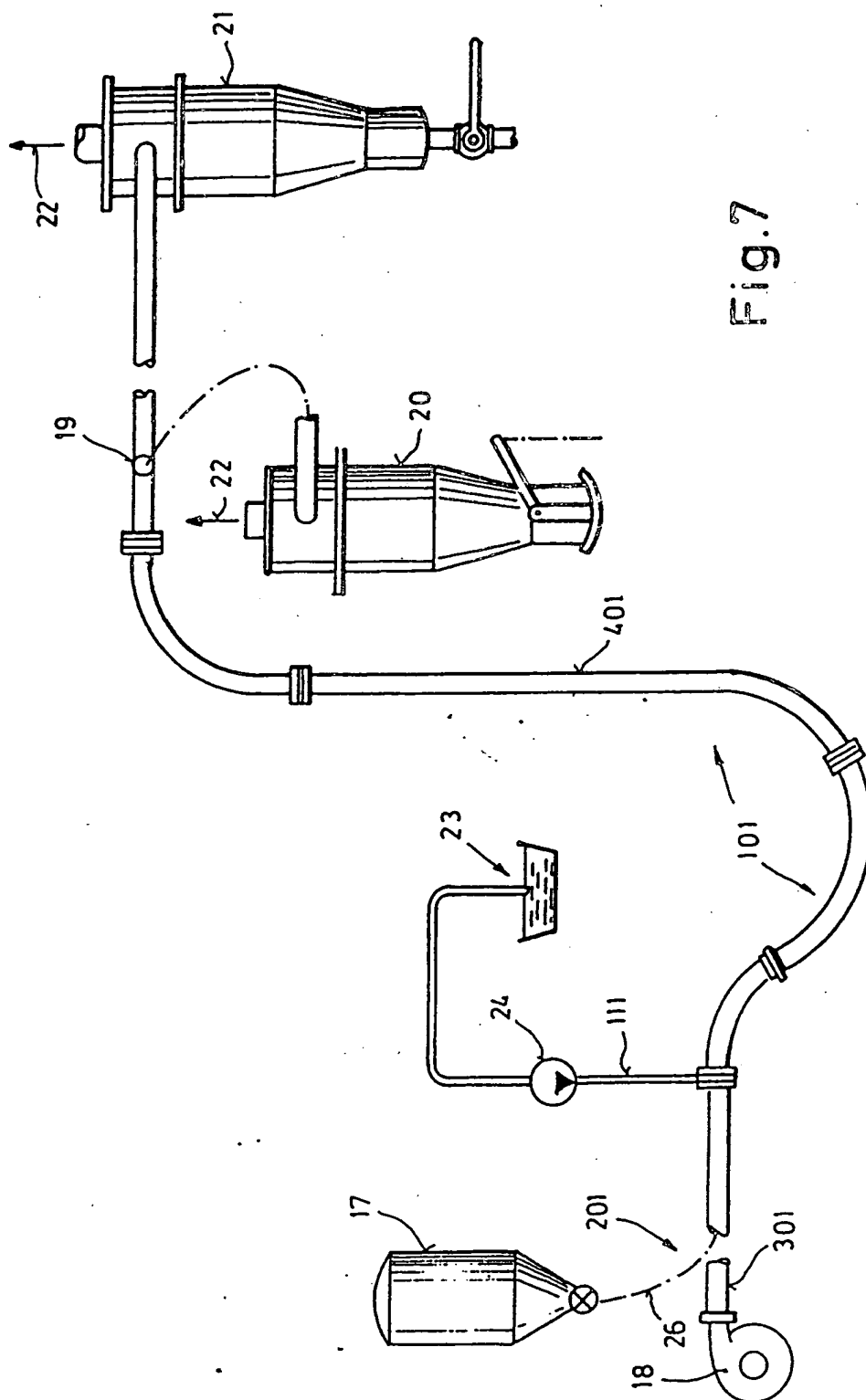


Fig.7



(11) Veröffentlichungsnummer: **0 490 117 A1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(21) Anmeldenummer: 91119494.2

(51) Int. Cl. 5: B08B 9/06, B08B 9/02

(22) Anmeldetag: 15.11.91

(30) Priorität: 13.12.90 CH 3947/90

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
 17.06.92 Patentblatt 92/25

(64) Benannte Vertragsstaaten:
 AT BE CH DE DK ES FR GB GR IT LI LU NL SE

(71) Anmelder: BÜHLER AG

CH-9240 Uzwil(CH)

(72) Erfinder: Kuebler, Ingo
 Stückelbergstrasse 9
 CH-9000 St. Gallen(CH)

(74) Vertreter: Révy von Belvård, Peter
 Im Lindengarten 18
 CH-9242 Oberuzwil(CH)

(54) Verfahren zum Reinigen einer Rohrleitung.

(57) Zum Reinigen einer Rohrleitung (101) mittels einer Reinigungsflüssigkeit wird diese von einer Flüssigkeits-Gas-Zweiphasenströmung durchströmt. Dazu wird vorzugsweise eine Ringströmung erzeugt, wobei die Flüssigkeit an wenigstens einer Stelle am Umfang eines Rohrleitungsabschnitts (201) eingespeist wird. Die Strömungsrichtungen von Gas und Flüssigkeit sind vorzugsweise gleichgerichtet.

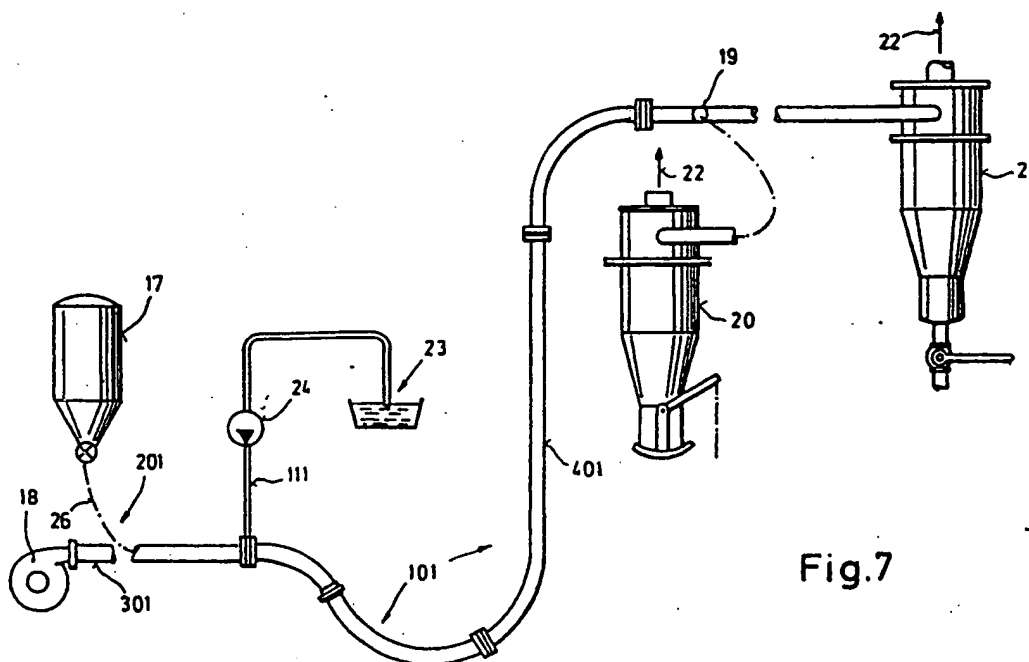


Fig.7

EP 0 490 117 A1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Reinigen einer Rohrleitung nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Werden Güter unterschiedlichster Art durch Rohrleitungen gefördert, so ergibt sich, selbst bei Wechsel des zu fördernden Gutes, oder auch nach einer gewissen Standzeit, die Notwendigkeit, die Rohrleitungen zu reinigen. Dabei werden an den Rohrwänden anhaftende Gutrückstände oder auch Absiebteilchen zu entfernen sein.

Bei langen Rohrleitungen bzw. solchen, die für den Transport von toxischen Stoffen vorgesehen sind, ist die Demontage der Leitung und die nachfolgende Reinigung der Rohrtelle ziemlich zeitaufwendig, bzw. nur unter sorgfältig einzuhaltenden Sicherheitsbestimmungen durchführbar. Als Alternative dazu wurden derartige Rohrleitungssysteme bisher vollständig mit Reinigungsflüssigkeit gefüllt, wobei diese Flüssigkeit durch die Leitungen gepresst oder auch gesaugt wurde. Es ist offensichtlich, dass für diese Methode grosse Mengen an Reinigungsflüssigkeit notwendig sind, was sowohl unter dem Gesichtspunkt der Umweltverträglichkeit als auch unter dem der Wirtschaftlichkeit fragwürdig ist.

Der Erfindung liegt demgegenüber die Aufgabe zugrunde, die Reinigung von Rohrleitungen mit Hilfe von Reinigungsflüssigkeiten vorzunehmen, ohne dass die Rohrleitungen demontiert werden müssen, wobei der Durchsatz von Reinigungsflüssigkeit um einige Grössenordnungen gegenüber dem konventionellen Verfahren herabgesetzt wird.

Das gelingt durch die Verwirklichung der kennzeichnenden Merkmale des Anspruchs 1.

Vorteilhafte Weiterbildungen werden in den kennzeichnenden Merkmalen der abhängigen Ansprüche beschrieben.

Strömen die beiden Phasen Flüssigkeit und Gas durch eine Rohrleitung, so sind äusserst unterschiedliche Strömungsbilder möglich, die insbesondere vom Anteil des Gasdurchsatzes abhängig sind, aber auch davon, ob horizontale, vertikale oder geneigte Rohre durchströmt werden. Im allgemeinen strömen Gas und Flüssigkeit in die gleiche Richtung. In vertikalen oder stark geneigten Rohren ist aber auch ein Gegenstrom zwischen Gas und Flüssigkeit möglich. Die Uebergänge zwischen den einzelnen Existenzbereichen der Strömungsformen können fliessend sein; auch ergeben sich je nach dem Phasenpaar erhebliche Verschiebungen für die Grenze der Strömungsformen.

Im Rahmen der Erfindung ist der Reinigungsvorgang auch mittels Pfropfen- oder Schaumströmung denkbar. Bevorzugt ist jedoch die Verwendung einer Gas-Flüssigkeits-Zweiphasenströmung, die in Form einer Ringströmung durch das Rohrleitungssystem strömt. Unter einer Ringströmung wird eine Strömung verstanden, bei der die Flüssigkeit längs der Rohrwand einen meist dünnen Film bildet und das Gas im Rohrzentrum strömt. Die beiden Phasen sind dabei durch eine mehr oder weniger gut definierte Grenzschicht voneinander getrennt, die in etwa der Innenwand der Rohrleitung entspricht. Dabei sind für vertikale und in gewissen Fällen auch für geneigte Rohrleitungen sowohl gleichgerichtete als auch entgegengesetzte Strömungsrichtungen für die Gas- und die Flüssigkeitsphase möglich. Eine umfassende Darstellung der Zweiphasen-Ringströmungsphänomene ist in Hewitt, Hall Taylor: "Annular Two-Phase Flow" (Pergamon Press, 1970) gegeben, dessen Inhalt hiermit als geoffenbart gilt.

Die Form, in der die Flüssigkeit in die Rohrleitung eingespeist wird, ist - gegenteilig zu verschiedenen Literaturstellen - für die Entstehung der Ringströmung selbst nicht besonders wesentlich. So könnte die Flüssigkeit über eine oder mehrere zentrale Düsen in den Gasstrom eingespeist werden, oder auch ringförmig über einen porösen Rohrtel oder eine Ringleitung. Wird die Flüssigkeit im wesentlichen zentral eingespeist, so wird im allgemeinen eine disperse Ringströmung entstehen, bei der feinverteilte Flüssigkeitströpfchen im Gasstrom mitgerissen werden.

Durch eine tangential und/oder gegen die Rohrachse geneigte Einstömrührung der Flüssigkeit wird allerdings der Druckverlust herabgesetzt, da der Gasstrom weniger Energie zur Beschleunigung des Flüssigkeitsringes aufbringen muss, und es wird weniger Flüssigkeit durch das Gas im Rohrzentrum mitgerissen werden.

Für eher schonende Reinigungsvorgänge von vertikalen bzw. wenig geneigten Rohren, bei denen die Flüssigkeit in Form eines dünnen Films entlang der Rohrwand herabrinnt und das Gas sowohl in Richtung der Flüssigkeitsströmung oder auch entgegengesetzt dazu strömen kann, ist eine ringförmige Einspeisung am Rohrumfang vorzusehen.

Das aus der Literatur bekannte, auf empirischem Weg erstellte Diagramm von Baker zeigt - allerdings nur für horizontale Rohre - die Existenzbereiche der verschiedenen Strömungsformen für Zweiphasenströmungen.

Erfindungsgemäss liegt sich ein ganz bestimmter Betriebsbereich - unabhängig von horizontaler oder vertikaler Rohrführung - für die Ausbildung einer Ringströmung mit hoher Reinigungswirkung und minimalem Flüssigkeitsverbrauch als besonders vorteilhaft. Die angegebenen Werte beziehen sich auf eine Flüssigkeits-Gas-Zweiphasenströmung mit einem Verhältnis von $1 \text{ m}^3 : 3000$ bis 7500 m^3 bzw. von $1 \text{ kg} :$

2,0 bis 6,0 kg. Damit ergibt sich beispielsweise für eine Reinigungszeit von ca. 10 Min. bei einem Rohrleitungssystem, das einen Rohrdurchmesser von 65 mm aufweist, unabhängig von seiner Länge, ein Verbrauch von ca. 30 l Flüssigkeit, wohingegen bei vollständiger Füllung der Rohrleitung mit Reinigungsflüssigkeit ca. 80'000 l Flüssigkeit notwendig wären.

- 5 Anhand der Folgenden Zeichnungen wird die Erfindung beispielhaft näher erläutert. Es zeigen.
- | | |
|-------------------|---|
| Fig. 1 | Strömungsformen von Zweiphasenströmungen in horizontalem Rohr; |
| Fig. 2 | Strömungsformen von Zweiphasenströmen in vertikalem Rohr, wobei |
| Fig. 2a | gleichgerichtete Zweiphasenströmungen und |
| Fig. 2b | eine ungleichgerichtete Zweiphasenströmung zeigt; |
| 10 Fig. 3 a bis d | Varianten für die Einstömgeometrie der Flüssigkeit; |
| Fig. 4 | das Diagramm für die Existenzbereiche der verschiedenen Strömungsformen nach Baker, ergänzt von Scott; |
| Fig. 5 | ein Diagramm zur Berechnung des Druckverlustes bei einer Zweiphasenströmung im horizontalen Rohr; |
| 15 Fig. 6 | die Abhängigkeit des Flüssigkeitsmassenstroms vom Rohrdurchmesser für einen ausgewählten Betriebsbereich; und |
| Fig. 7 | eine Ausführung einer erfindungsgemässen Anlage. |

In Fig. 1 sind verschiedene Strömungsformen einer Zweiphasenströmung in einem horizontalen Rohr 1 dargestellt. Dabei ist die Strömungsrichtung sowohl für die Flüssigkeit als auch für das Gas jeweils gleich und durch einen Pfeil mit dem Index L für die Flüssigkeit und einem Index G für das Gas angegeben. Von oben nach unten sind in Fig. 1 dargestellt:

- die Blasenströmung 2, mit Gasblasen im oberen Rohrtteil; Gas und Flüssigkeit haben in etwa die gleiche Geschwindigkeit;
- Die Pfropfenströmung 3; geschloss förmige Pfropfen bewegen sich im oberen Rohrtteil;
- 25 - die Schichtströmung 4, bei der die beiden Phasen durch eine glatte Grenzfläche getrennt sind, im Gegensatz zur
- Wellenströmung 5, bei der die Phasengrenze wellig ausgebildet ist;
- bei steigender Gasgeschwindigkeit werden die Wellen der Wellenströmung 5 schwallartig aufgeworfen, es kommt zu Benetzung der gesamten Rohrrinnenfläche, wobei ein dünner Film den Zwischenraum zwischen den einzelnen schwallförmigen Wellen an der Rohroherseite ausfüllt; diese Strömungsform wird als Schwallströmung 6 bezeichnet;
- 30 - bei weiterer Erhöhung der Gasgeschwindigkeit werden die schwallförmigen Wellen von Gas durchdrungen, und es bildet sich eine Ringströmung 7, wobei unter dem Einfluss der Schwerkraft die Filmdicke an der Oberseite des Rohres 1 geringer ist als an der Unterseite.

35 Entsprechende Strömungsformen entstehen in vertikalen Rohren; aus Fig. 2a sind (von links nach rechts) die Blasenströmung 2, die Pfropfenströmung 3, die der Schwallströmung 6 im horizontalen Rohr entsprechende Schaumströmung 8 und die Ringströmung 7 zu erkennen. Für die Schaumströmung 8, die ebenso wie die Schwallströmung 6 im horizontalen Rohr - die Uebergangsform zwischen Pfropfenströmung 3 und Ringströmung 7 darstellt, wird auch die Bezeichnung Semi-Ringströmung verwendet. Die Strömungsrichtungen von Gas und Flüssigkeit sind in allen diesen Fällen gleich.

40 Im Gegensatz dazu zeigt Fig. 2b eine im Inneren eines vertikalen Rohres 1 herabrinnende Flüssigkeit, die, um eine geschlossene Flüssigkeits-Filmschicht zu erhalten, ringförmig am Rohrdurchmesser eingespeist werden sollte. Das Gas kann dabei auch entgegengesetzt dazu, also aufwärts, strömen, solange die Geschwindigkeit des Gases nicht zu gross wird, sodass keine Wellen das laminare Strömungsverhalten des Flüssigkeitsfilms ablösen. Ein solcher Rieselfilm 9 stellt natürlich auch eine Form von Ringströmen dar, allerdings ist hier die gegenseitige Beeinflussung von Gas- und Flüssigphase vergleichsweise gering.

Für eine sparsame und doch effektive Rohrreinigung ist - bei Vergleich der verschiedenen Strömungsformen - sicherlich die Ringströmung vorzuziehen, der Spezialfall des Rieselfilms ist nur für vertikale bzw. wenig geneigte Rohre und sanfte Reinigungsvorgänge denkbar. Jedoch auch Pfropfen- 3 oder Schwall- 6 bzw. Schaumströmungen 8 wären für eine Rohrreinigung mit sparsameren Reinigungsflüssigkeits-Verbrauch einsetzbar.

W iter unten werden anhand eines Beispiels die Verbrauchswerte für eine Reinigung mittels Ringströmung mit den n bei mit Flüssigk it vollgefülltem Rohr verglichen.

55 In Fig. 3 sind v rschiedene Möglichkeiten gezeigt, wie die Flüssigkeit in ein Rohr 1 eingesp ist w rd n kann. Bei den in Fig. 3a und 3b dargestellt n Fäll n wird die Ausbildung ein r Ringströmung begünstigt. Wird entspr chend Fig. 3b die Flüssigkeit Üb r einen - hi r als poröse Wand 10 - ausgebildeten - ringförmigen Einlass eingebracht, so können sowohl gl ichgerichtet strömende als auch ungleichgerichtete strömende Ringströmungen ntstehen. Eine Einspeisung der Flüssigk it nach Fig. 3a allerdings, bei der die

Flüssigkeit über eine Einlassdüse 11 in das Rohr 1 unter Druck eingespeist wird, ist besonders günstig. Da die Düse 11 gegen die Rohrachse 12 unter einem Winkel α (von vorzugsweise 45°) geneigt und/oder tangential in den Rohrfang mündet, ist wenig Energie durch das Gas zur Erzeugung der Ringströmung aufzubringen; der Druckverlust entlang der Rohrleitung ist geringer.

Auch bei den in Fig. 3c bzw. 3d dargestellten Einlassdüsen 11a bzw. 11b, die die Flüssigkeit im wesentlichen ins Rohrzentrum einspeisen, entsteht - bei entsprechender Gasgeschwindigkeit - eine Ringströmung. Allerdings wird in diesen Fällen der Gas" Kern" im allgemeinen mitgerissene Flüssigkeit in dispergierter Form mit sich führen.

In Fig. 4 ist das Diagramm von Baker dargestellt, aus dem ein sehr enger Bereich als erfindungsgemäss bevorzugt gelten kann, und nach dem die Existenzbereiche der einzelnen Strömungsformen in horizontalen Rohren grob abgeschätzt werden können. Das auf rein empirischem Weg gewonnene Diagramm ist für Flüssigkeit-Gas-Phasen brauchbar, die dem Stoffpaar Luft-Wasser vergleichbar sind. Doch selbst im letzteren Fall werden erhebliche Abweichungen von diesem Diagramm beobachtet. Die Bereiche der einzelnen Strömungsformen sind in Fig. mit den Bezugszeichen entsprechend Fig. 1 bzw. 2 gekennzeichnet.

Der Ausdruck $G_L \cdot \lambda_B \cdot \psi_B / G_G$ auf der Abszisse ist gegen den Ausdruck G_G / λ_B aufgetragen, wobei λ eine Dichte- und ψ ein Zähigkeits-Oberflächenspannungsparameter ist. G_L und G_G sind die Massenströme für Flüssigkeit bzw. Gas in $\text{lb/h} \cdot \text{ft}^2$ und λ_B und ψ_B sind durch

$$\lambda_B = \left[\left(\frac{\rho_G}{\rho_A} \right) \left(\frac{\sigma_L}{\sigma_W} \right) \right]^{0.5} \quad \text{bzw.} \quad \psi_B = \left(\frac{\sigma_W}{\sigma} \right) \left[\frac{\mu_L}{\mu_W} \left(\frac{\rho_W}{\rho_L} \right)^2 \right]^{1/3}$$

definiert. ρ sind die Dichtewerte, σ die Oberflächenspannung, und μ die Viskosität der Flüssigkeit. Die Indizes A und W bezeichnen die Werte für Luft bzw. Wasser; L und G, wie bereits oben angegeben, diejenigen für Flüssigkeit bzw. Gas.

Bei einer ringförmigen Zweiphasenströmung durch vertikale Rohre macht sich der Einfluss der Gravitation nicht wie bei horizontalen Strömungen bemerkbar, dass nämlich die Ringdicken an der Rohrober- bzw. -unterseite um mehr als eine Grössenordnung variieren können. Die vertikale Ringströmung ist im wesentlichen stabil, während die horizontale Ringströmung grundsätzlich instabil ist. Demnach ist es wichtig, einen Betriebsbereich zu finden, der sowohl für horizontale als auch für vertikale Rohre - also für ein komplexes Rohrleitungssystem, in dem auch Krümmungen auftreten, - eine Ringströmung mit geringstmöglichem Flüssigkeitswasserstrom gewährleistet. Im Bereich 13, für den im Diagramm von Baker der einzuhaltende Wert für den Ausdruck der Abszisse zwischen 0.1 und 0.4 und der der Ordinate zwischen $2 \cdot 10^4$ und 10^5 beträgt, ergibt befriedigende Ergebnisse, sowohl für die Phasen Flüssigkeit/Gas mit einem in der oben angegebenen Grössenordnung, wobei diese Grenzen in Extremfällen auch über- bzw. unterschritten werden können, und zwar um wenigstens 10%, gegebenenfalls sogar um 20%.

Die in Fig. 5 dargestellte Korrelation von Lockhart und Martinelli ermöglicht die Berechnung des Druckverlustes für Zweiphasenströmungen, wobei den einzelnen Kurven die Voraussetzung zugrunde liegt, dass die beiden Phasen voneinander unbeeinflusst durch die Rohrleitung strömen. Die Kurven 14a - d und 15a - d entsprechen dabei Flüssigkeiten bzw. Gasen mit turbulentem bis laminarem Strömungsverhalten. Die Abszisse des Diagramms entspricht dabei der Wurzel aus dem Verhältnis

$$\frac{(\Delta p / \Delta l)_L}{(\Delta p / \Delta l)_G}$$

wobei der Wert für den Druckabfall im Zähler bzw. Nenner dem Wert entspricht, der sich einstellen würde, wenn nur Flüssigkeit bzw. nur Gas durch das Rohr strömen würde. An der Ordinate können die Wurzeln aus den Ausdrücken $(\Delta p / \Delta l)_{ZP} / (\Delta p / \Delta l)_L$ bzw. $(\Delta p / \Delta l)_{ZP} / (\Delta p / \Delta l)_G$ abgelesen werden. Die Werte für den Nenner sind dabei bekannt, es können demnach die Druckdegradierten für die Gas- bzw. Flüssigkeitsphasen der Zweiphasenströmung (Index ZP) bestimmt werden.

Das in Fig. 6 dargestellte Diagramm zeigt den für einen ausgewählten Betriebspunkt 16 im Baker-Diagramm (Fig. 4) berechneten Massenstrom G_L für Wasser bei verschiedenen Rohrdurchmessern.

Die grundsätzlich als instabil zu betrachtende, horizontale Ringströmung erweist sich als wesentlich stabiler, wenn das horizontale Rohr nach einem vertikalen Rohrabschnitt durchströmt wird; länger hori-

tale Rohrabschnitte sollten demnach nach vertikalen Rohrabschnitten durchströmt werden können, was bei der Auslegung eines auf die erfindungsgemässe Art zu reinigenden Rohrleitungssystem beachtet werden sollte.

Fig. 7 zeigt eine vereinfachte Anlage zur Durchführung des Verfahrens, mit einer Förderrohrleitung 101 (die dem Rohr 1 der Fig. 1 bis 3 entspricht), in die normalerweise Fördergut aus einem Aufgabeebehälter 17 in bekannter Weise in einem Anfangsabschnitt 201 eingespeist wird. Dieser Anfangsabschnitt 201 ist an einen nicht Förderaufgaben dienenden Leitungsabschnitt 301 mit einem Gebläse 18 als Druckgasquelle (im allgemeinen Druckluftquelle, wenn nicht aus besonderen Gründen ein anderes Gas, wie Inertgas verwendet wird) angeschlossen. Die Förderung erfolgt dabei über einen Steilabschnitt 401 und eine, lediglich schematisch angedeutete Rohrweiche 19 bis in einen Abscheider (Zyklon) 20.

Soll nun die Förderleitung 101 gereinigt werden, so wird die Rohrweiche 19 derart umgestellt, dass die Reinigungsflüssigkeit (Wasser, Reinigungs- bzw. Lösungsmittel od.dgl.) einem Abscheider 21 zugeführt wird. Beide Abscheider 20, 21 sind über Abzugleitungen 22 mit einem nicht dargestellten Gasabzug verbunden, der gegebenenfalls beiden Abscheidern 20, 21 gemeinsam sein kann und erforderlichenfalls auch ein Sauggebläse aufweist. Das Druckgebläse 18, gegebenenfalls zusammen mit solchen Sauggebläsen, ist jedenfalls so ausgebildet und dimensioniert, dass sich die oben erläuterte Zwei-Phasen-Strömung einstellt.

Nach Umschalten der Rohrweiche 19 wird eine mit einem Flüssigkeitsvorrat 23 verbundene Pumpe 24 in Tätigkeit gesetzt, die an einer, zweckmässig im Anfangsbereich 201 liegenden Stelle, die Reinigungsflüssigkeit in die Rohrleitung 101 in der oben geschilderten Weise pumpt. Es ist ersichtlich, dass die Verbindung der Pumpe 24 über eine Zufuhrleitung 111 an einer Stelle vorgesehen ist, die nach der Einmündung des vom Behälter 17 abgehenden Zufuhrkrümmers 26 (nur strich-Punktiert angedeutet) liegt, doch kann es wünschenswert sein, die Einmündung der Leitung 111 vor dem Krümmer 26 vorzusehen. Nach dem Stande der Technik ist es bekannt, mehrere Stichleitungen, über die Länge der Förderleitung 101 verteilt, in diese einmünden zu lassen, und so wäre es auch möglich, mehrere Leitungen 111 vorzusehen, die von der Flüssigkeitsquelle 23, 24 gespeist werden, und die an verschiedenen Stellen der Leitung 101 einmünden. Im allgemeinen wird dies aber nicht erwünscht sein, da dies einerseits zu einem höheren Aufwand führt, andererseits, die in der Leitung 101 enthaltene Flüssigkeitsmenge mit zunehmender Länge der Leitung 101 nur vergrössert. Denkbar wäre eine solche Lösung nur bei sehr stark schmutzenden Gütern, bei denen die Reinigungsflüssigkeit rasch eine gesättigte Lösung bildet, die dann zu weiterer Reinigungsarbeit nicht ohne weiteres tauglich ist. Für den Normalfall aber ist es bevorzugt, wenn nur eine einzige Leitung 111 (mit einer Düse 11 gemäss Fig. 1-3) für die Flüssigkeitszufuhr vorhanden ist.

Es ist verständlich, dass es denkbar wäre, im senkrechten Abschnitt der Rohrleitung 101 die Flüssigkeit auch entgegengesetzt zur Gasströmungsrichtung fliessen zu lassen, in welchem Falle die Anordnung der Abscheider entsprechend zu ändern wäre.

Damit das beschriebene Reinigungsverfahren einwandfrei funktioniert, muss darauf geachtet werden, dass bei den Flanschverbindungen zwischen den einzelnen Rohrabschnitten keine Vorsprünge in den Rohrrinnenraum hineinragen. Es sollten möglichst glatte Innenwandungen durchströmt werden. Starke Krümmungen und abrupte Änderungen des Rohrdurchmessers sind ebenfalls zu vermeiden. Andernfalls besteht die Möglichkeit - wenn auch nicht mit der gleichen Effektivität - den Rohrreinigungsprozess abwechselnd in zwei Richtungen ablaufen zu lassen.

Nachstehend werden zwei Beispiele für die Durchführung des Verfahrens angegeben.

Beispiel 1:

Rohrlänge 25m; Luftdruck: 1,3 bar (Druckbetrieb)
 Rohrdurchmesser 65 mm
 Luftgeschwindigkeit: bis zu 60 m/sec
 Flüssigkeitsverbrauch (Wasser) : 30 l in 10 min. (bei vollgefülltem Rohr wären dazu vergleichsweise ca. 80'000 l nötig)

Beispiel 2:

Saugbetrieb
 Rohrdurchmesser: 80 mm
 bei Rohrlängen über 50 m (abhängig auch von der Rohrqualität hinsichtlich der sich ergebenden Verluste, allfällige Dichteverluste, etc.) muss Luft zugesetzt

werden, da sonst die Luftdichte zu stark gesunken.

Patentanspruch

1. Verfahren zum Reinigen einer Rohrleitung (1), bei dem Reinigungsflüssigkeit durch die Rohrleitung (1) strömt, dadurch gekennzeichnet, dass durch die Rohrleitung (1) eine Zweiphasenströmung - Flüssigkeit und gleichzeitig Gas, vorzugsweise Luft, - strömt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die beiden Phasen, Flüssigkeit und Gas, als Ringströmung (7) durch die Rohrleitung (1) strömen.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Flüssigkeit an wenigstens einer Stelle (10; 11) am Umfang eines Abschnitts der Rohrleitung (1) eingespeist wird, und dass bevorzugt die Flüssigkeit gegen die Achse (12) der Rohrleitung (1) - vorzugsweise um 45° - geneigt und/oder tangential in bezug auf den Rohrumfang eingespeist wird.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Gas und Flüssigkeit in derselben Richtung strömen.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass Gas und Flüssigkeit in entgegengesetzter Richtung strömen.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Wert des Ausdrucks

$$G_L \cdot \lambda_B \cdot \psi_B / G_G$$

zwischen 0.1 und 0.4, vorzugsweise zwischen 0.15 und 0.3, und der Wert des Ausdrucks

$$G_G / \lambda_B$$

zwischen $2 \cdot 10^4$ und 10^5 , vorzugsweise zwischen $3 \cdot 10^4$ und $8 \cdot 10^4$ liegt, wobei G_L und G_G jeweils der Massenstrom für Flüssigkeit bzw. Gas in lb/h ft² sind, und die Parameter lambda und psi durch

$$\lambda_B = \left[\left(\frac{\rho_G}{\rho_L} \right) \left(\frac{\rho_L}{\rho_W} \right) \right]^{0.5} \quad \text{bzw.} \quad \psi_B = \left(\frac{\sigma_W}{\sigma} \right) \left[\frac{\mu_L}{\mu_W} \left(\frac{\rho_W}{\rho_L} \right)^2 \right]^{\frac{1}{3}}$$

definiert sind, wobei ρ_L und ρ_G die Dichten von Flüssigkeit bzw. Gas in dem gegebenen System, sigma die Oberflächenspannung, μ_L die Viskosität der Flüssigkeit sind, und die Indizes A bzw. W sich auf die entsprechenden Werte für Gas bzw. Flüssigkeit bei Normaldruck beziehen.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass - für Wasser - bei einer Einströmgeschwindigkeit von beispielsweise 80m/sec der Wassermassenstrom in Abhängigkeit vom Durchmesser der Rohrleitung durch folgende Werte gegeben ist:

Rohrdurchmesser in m:	Flüssigkeitsmassenstrom in kg/sec:
0.05	0.03
0.09	0.10
0.11	0.15
0.13	0.20
0.16	0.30
0.20	0.48

Handwritten notes and calculations:

0.67
 1.8 kg/m
 3.7
 1.40
 1.8 kg/m

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Verhältnis von Gas zu Flüssigkeit in der Größenordnung von $3000 \text{ bis } 7500 \text{ m}^3 : 1 \text{ m}^3$ liegt bzw. in der Größenordnung von $2,0 \text{ bis } 6,0 \text{ kg} : 1 \text{ kg}$.

5 9. Anlage zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 8, mit einer Förderleitung (1; 101) und einer Druckgasquelle (18), die an die Förderleitung (1; 101) zum Hindurchblasen eines Fördergases ausgebildet ist, dadurch gekennzeichnet, dass die Förderleitung (1; 101) ausserdem an
10 wenigstens eine Flüssigkeitsquelle (23, 24) über mindestens eine Flüssigkeitsleitung (11; 111) angeschlossen ist, und dass die Druckgasquelle (18) zur Erzeugung einer Zweiphasenströmung dimensioniert und ausgebildet ist.

10. Anlage nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass nur eine einzige Flüssigkeitsleitung (111) für
15 die Zufuhr von Flüssigkeit aus der Flüssigkeitsquelle (23, 24), vorzugsweise im Bereiche (201) des Beginnes der Förderaufgaben erfüllenden Förderleitung (101), vorgesehen ist.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

European Patent Application No. 0 490 117 A1

Job No.: 6484-89519

Translated from German by the Ralph McElroy Translation Company
910 West Avenue, Austin, Texas 78701 USA